

加速度を用いた歩行様式 Z2C-Walk の促進システムの開発

茅野 宏紀^{*1} 下寶 賢人^{*2} 大井 翔^{*1} 藤本 雅大^{*2}

松村 耕平^{*1} 野間 春生^{*1} 伊坂 忠夫^{*2}

Study of Supporting System for a New Walking Style that allows Users to Achieve Supplemental Activity

Hiroki Chino^{*1} Kento Shimoho^{*2} Sho Ooi^{*1} Masahiro Fujimoto^{*2}

Kohei Matsumura^{*1} Haruo Noma^{*1} Tadao Isaka^{*2}

Abstract – People today have not achieved daily health standards set by the country. There is a walking style that supplements activity called Z2C-Walk, in which a person takes a bigger step on every third step. However, pedestrians cannot execute Z2C -Walk well because they do not understand the correct Z2C-Walk behavior. So, we developed a system that calculates users' walking cycle using the acceleration during walking. This allows the system to identify Z2C -Walk motion and support users to correctly execute Z2C -Walk.

Keywords: Acceleration, Walking estimation,

1. はじめに

現代人の多くは1日あたりの歩行量が、健康日本21において定められている基準を満たしていない^[1]。健康日本21で定められている基準は男性が9000歩、女性が8500歩であり、人々はこの基準におよそ1000歩足りないという結果が出ている。運動を行わない理由として時間が無いなどの理由があげられる。足りない1000歩を補うために様々な方法が考案されている。下寶らは足りない1000歩を補うためにZun-Zun-Cha, Zun-Cha-Cha-Walk(以下Z2C-Walk)という歩行様式を提案した^[2]。Z2C -Walkとは3歩目を通常よりも歩幅が一足長大きい大股で歩く歩き方である。Z2C-Walkは運動量を増加させる効果がある一方で、問題点も存在する。歩行者自身が正しくZ2C-Walkができているか分からないということと、大股のタイミングが取り辛いという二点である。本研究では、これらの問題点を解決するために、Z2C-Walkの動作識別を行うシステムと、Z2C-Walkを正しく行うための支援をするシステムを開発した。

2. Z2C-Walkの効果と課題

歩行時に歩幅を変化させて歩くことや、大股を行うことによって、通常歩行と比べると身体活動量が増加することが分かっている^{[3][4]}。このことから、Z2C-Walkを行うことで、通常歩行と比べて身体活動量が1.2倍から1.3倍になる。よって、今までと同様の歩行時間でも1000歩分の運動量を補うことができる。

しかしながらZ2C -Walkには大きく二つの問題点が存在する。歩行者自身が正しくZ2C -Walkを行えているか把握できないということと、大股のタイミングが取り辛いという二点である。歩行者が正しいZ2C -Walkの動作を理解していなければ、Z2C-Walkをしているつもりであっても期待した効果を得られない。また、ふとした考え事などに意識が向いてしまいタイミングが狂う可能性がある。これらの問題を解決するために人々が日常生活から利用しているスマートフォン端末のみを用いてZ2C -Walkが正しく行われているか判別及び音を用いて正しいリズムを提示し、Z2C-Walkを支援するシステムの開発を行う。

3. 歩行周期を用いたZ2C-Walkの動作識別

本研究では、開発した支援システムを多くの人が利用しているスマートフォン端末において実装することを想定している。そのため、識別にはスマートフォン端末に搭載されている機能の一つである加速度を用いた。本章では加速度を用いてZ2C -Walkの動作識別を行うシステムについて述べる。識別を行う手順として、Z2C-Walkの動作識別を行う前段に歩行識別を行う。歩行者が歩いていると判断した上で、その歩行が通常歩行であるのかZ2C-Walkであるのかを判別する。

3.1 周波数特性を用いた歩行判別

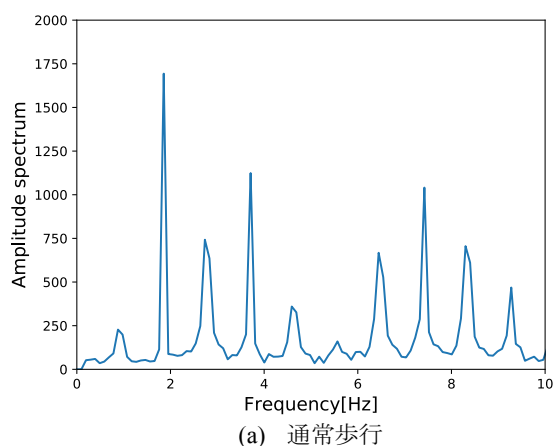
加速度の計測は人々が日頃スマートフォン端末を入れていると考えられる腰ポケットに加速度センサを入れて計測を行った。その際、端末の向きやポケットの形状によって必ずしも軸が一定ではなくなる。そのため、どの軸がどの方向を向いていても関係なくなるよう、識別には3軸の二乗平方根(RMS)を用いることとした。サンプリング

*1: 立命館大学 情報理工学部

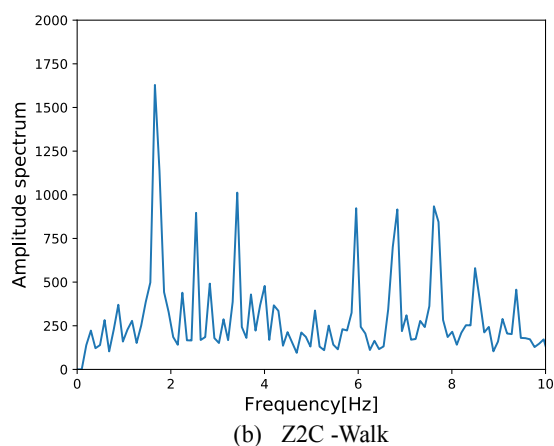
*2: 立命館大学 スポーツ健康科学部

*1: Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

*2: Sport and Health Science, Ritsumeikan University



(a) 通常歩行



(b) Z2C-Walk

図1 歩行時の周波数特性

リングレートは 100Hz で行なった。

歩行判別には 3 軸の RMS 値を FFT にかけ、得られた周波数特性から判断する。判定には、判定時から直前 1024 サンプルを用いる。判定は 1 秒毎に行い、二回目以降の判定には最大過去 5 秒分の結果を用いて平滑化を行う。

図 1 は同一人物の通常歩行と Z2C-Walk の周波数特性のグラフである。Z2C-Walk を行なった際に特にリズムの提示などはしていない。歩行時には 2Hz 付近に特徴が検出されるので、これを用いて歩行しているか否かの判別を行う。Z2C-Walk は 3 歩ごとに大股が挟まれることによって通常歩行とは周期の異なる波形が検出されると考えられる。しかし、大股以外の 2 歩による特徴が大きく検出されており、通常歩行と大きな差がない結果になっている。このことから、周波数特性を用いて通常歩行と Z2C-Walk を見分けるのは困難であり、この段階においては通常歩行と Z2C-Walk 共に歩行していると判定する。次の段階で通常歩行であるか Z2C-Walk であるかの判別を行う。

3.2 歩行周期を用いた Z2C-Walk の検出

通常歩行と歩行間隔が一足長大きい大股を比べると、多くの人は大股で歩いた際に歩行周期が大きくなる。この特性を用いて大股を検知し、正しく Z2C-Walk が行われているか識別を行う。加速度波形が同一の特徴を示した周期を歩行周期とみなして計測する。加速度波形が示

す特徴は、計測器を入れているポケット側の足の特徴が大きく出ているため、左右 1 歩ずつの計 2 歩を 1 周期として歩行周期を計測する。3.1 で歩行していると判別された場合、直前の 1024 サンプルに対して次の処理を行う。

- ① 参照データの先頭から 1 秒間での最大値を取る。
- ② 得られた最大値から 1 秒±0.2 秒の間を次の検出範囲とし、最大値をとる。
- ③ ②を繰り返し参照データ内の特徴を全て抽出。

得た最大値を示した時刻の差を歩行周期とみなす。図 2 は①と②を実行した状態を示しており、丸で囲まれた部分が検出された特徴部分である。先述の通り、ここでの歩行周期とは 2 歩の周期である。そのため Z2C-Walk を行い 3 歩ごとに大股で歩いた場合には 3 回の歩行周期のうち 2 回に大股が含まれ、残り 1 回は通常歩行のみになっている。よって歩行周期に大股が含まれているのが 2 回、含まれていないのが 1 回、これが周期的に検出されれば Z2C-Walk を行なっていると判断する。Z2C-Walk の周期について図 3 に示す。大股を行なっているかの判別は歩行周期が通常歩行時の周期と比べて 0.12 秒以上を大股とした。0.12 秒とは事前に 4 人の被験者に通常歩行を行なってもらった際の歩行周期のズレの最大値である。よって、この値を超えた場合は意図的に大股を行なった

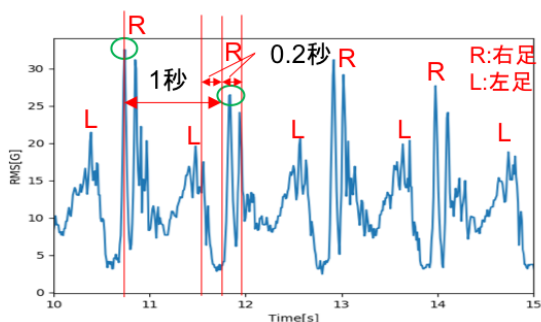


図2 歩行周期の検出方法(固定値を用いた手法)

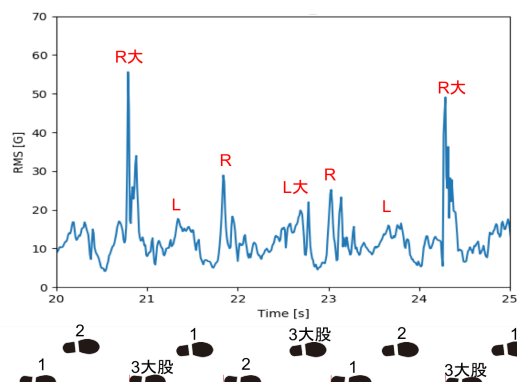


図3 Z2C-Walk 周期

と考える。

3.3 個人適応手法

歩行動作には個人差がある。前述の方法では最大値を採る際の計測範囲として 1 秒及び 1 秒±0.2 秒という固定値を用いていた。しかしながらこの固定値の範囲内に歩行周期を持たない歩行者がいた場合、正確に計測できない可能性がある。そこで、歩行判別時にも用いた周波数特性から事前におよその 1 歩周期 X 秒を得て、3.2 章で述べた固定値ではなく 2X 秒を判定の値として用いる手法をとる。同様に、大股時に増加する歩行周期にも個人差があるので、大股判定も X 秒を基に個人ごとの値を用いる。歩行動作の周波数特性において最も影響が出るのは 1 歩の周期で固定であるので、これを用いて周波数特性からおよその周期 X 秒を得ることができる。この手法を用いることによって個人差に対応し、更に同一人物における異なる状況、例えば平坦な道と坂道では歩行間隔が異なってくるが、このような状況にも数歩歩けば対処できる。

4. 識別率評価実験

20 代前半の男性 8 名女性 1 名、計 9 名に通常歩行と Z2C -Walk をそれぞれ 2 回ずつ、人とのすれ違いがない平坦な道を一定距離歩いてもらった。歩行時間は 1 回約 30 秒で、計測開始時は静止しており、歩行後も静止してから計測を終了した。被験者の内、男性 2 名は Z2C -Walk の動作を正しく理解しており、この 2 名を「Z2C -Walk 経験者」とする。残りの 7 名は実験時に初めて Z2C -Walk を行なった人物であり、この 7 名を「Z2C -Walk 未経験者」とする。Z2C -Walk 未経験者には事前に Z2C -Walk の説明と実演を行った。

3.2 章で示した固定値を用いた手法と 3.3 で示した個人適応手法それぞれで識別を行った。歩行していた場合は通常歩行か Z2C -Walk のどちらかを行なっていることを前提とし、判定結果は通常歩行、Z2C -Walk、Unknown の 3 種類に分ける。Unknown とは大股歩行が検知できていたが大股が含まれているのが 2 回、含まれていないのが

1 回の周期が検知できていない場合を指す。大股の検知方法は、通常歩行時の歩行周期の平均値と比較して、大股であるかどうかを判断した。それぞれの識別結果を表 1 に示す。識別は歩行中に毎秒行なった。

結果より、個人適応を用いた方が Z2C -Walk の検出において大きく精度が上がり、通常歩行においてはほとんど差がなかった。通常歩行の結果に差がなかったのは、今回の被験者が従来の固定値(1.0±0.2 秒)の間に歩行周期を持っていたため個人適応を行なった値と固定値とに大きな差がなかったためと考えられる。しかし、通常歩行における歩行周期が固定値内にあった場合でも、大股を行なった際にはこの値を超えることがあったため Z2C -Walk の正答率に差が見られた。

表 1 に示す異常値検出箇所とは、歩行周期が計測範囲よりも大きくなってしまったことで目的の特徴を検出できなかった箇所を指す。従来手法では被験者の内の 4 人において、複数箇所検出された。また 4 人以外の被験者からも一部で検出された。しかし、目的の特徴とは異なる特徴を検出してしまった場合でも、その値を用いて歩行周期を算出し識別を行っている。異常値を検出した際の識別結果の多くが Unknown になる。そのため、従来手法における Unknown の率が高くなった。また、経験者と未経験者との間に、Z2C -Walk の識別率に大きな違いが見られた。このことから未経験者が Z2C -Walk の正しい動作を行えていなかった可能性が考えられる。そのため、Z2C -Walk 未経験者が正しい動作を行えるようになるために、タイミングを提示するシステムが必要である。

5. Z2C -Walk 支援システム

5.1 音を用いたタイミングの提示

Z2C -Walk を行うにあたって、大股を行うタイミングがわからなくなる問題がある。Z2C -Walk を行うには頭の中で常にタイミングを取る必要があり、ふとした瞬間に別のことを考えてしまった場合などにはタイミングが上手く取れなくなってしまう。この問題を解決するために、歩行者に音を用いてタイミングを提示する方法を考えた。

表 1 識別結果

従来手法					個人適応手法				
識別 真値	通常歩行	Z2C- Walk	Unknown	異常値 検出	識別 真値	通常歩行	Z2C- Walk	Unknown	異常値 検出
通常歩行	98.1%	0%	1.9%	0	通常歩行	98.1%	0%	1.9%	0
Z2C-Walk	8.7%	41.3%	50.0%	8	Z2C-Walk	5.2%	67.2%	27.6%	0

Z2C -Walk 経験者 2 名

従来手法					個人適応手法				
識別 真値	通常歩行	Z2C- Walk	Unknown	異常値 検出	識別 真値	通常歩行	Z2C- Walk	Unknown	異常値 検出
通常歩行	90.7%	0%	9.3%	1	通常歩行	91.1%	0%	8.9%	0
Z2C-Walk	26.5%	26.0%	47.5%	20	Z2C-Walk	23.5%	35.3%	41.2%	1

Z2C -Walk 未経験者 7 名

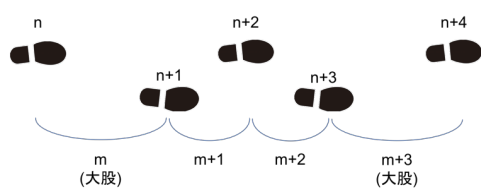


図4 歩行の抜き出しのタイミング

5.2 音の提示

タイミングを提示するにあたって歩行者に混乱を招かない方法をとる必要がある。大股を行う時のみに音を鳴らすと、通常歩行している2歩分においてズレが生じた際にむしろタイミングが合わない可能性が考えられる。そのため、大股以外の部分でも常にタイミングを提示する必要がある。被験者Aと被験者Bの二人に対して、以下の3条件でZ2C-Walkを行なってもらった。被験者A,Bは共にZ2C-Walk経験者であり、4章の被験者とは異なる人物である。

- a)音による提示無し
- b)通常歩行の一定リズム
- c)大股時に0.12秒ずらして音を提示

通常歩行時の音の提示周期は、事前に二人に通常歩行を行なってもらい、その歩行周期の平均値を用いた。ここで求めた平均値より0.12秒大きいタイミングで大股時の音を提示している。歩行中の任意の n 歩目からデータを抜き出し、5歩分の歩行周期と歩行距離を計測する。これを5回ずつ行った。全てにおいて抜き出し開始位置は揃えてあり、図4に示す。音を提示する際、事前に被験者には音の鳴ったタイミングで着地してもらうように言っていた。

結果を図5に示す。グラフはそれぞれ5回行なった結果の平均値を示している。両被験者共に全ての条件で大股時の周期が大きくなっている。被験者Aは、3条件全てにおいて大股時の歩行距離にほとんど違いがなかった。

これは被験者Aにおいて、大股判定を行う閾値を適切に設定すれば音を提示せずともZ2C-Walkが行えていることを示す。また両被験者ともに、リズムをずらした場合、音が提示されるまで少し待ってしまう問題がおきてしまい、スムーズに歩けていなかった。また、一定リズムで提示した際も駆け足気味になっており、被験者のペースで歩けていなかった。加えて被験者Bは音を提示しなかった際に他の2条件と比べて大股時の歩行距離の平均値が2cm短くなっていた。このことから音を提示することで大股に意識が向いていると考えられる。これらのことから大股時に提示する音のリズムは両被験者共に一定リズムでの提示も0.12秒ずらしての提示も適切ではないといえる。よって大股時の音の提示は、一定のリズムでは早すぎるためリズムをずらす方法をとるが、ずらす時間については個人適応を行う必要がある。個人の通常歩行時の歩行周期から適切なタイミングを算出し用いる。

6. 結論

本研究では、加速度センサを用いてZ2C-Walkの問題点を解決する手法の提案とそれを行うシステムを開発した。4章で行なった識別結果において通常歩行またはUnknownと判別された場合において、もしくは任意で携帯端末から音を提示する。

識別率評価実験より、個人適応を行うことでより識別率がZ2C-Walkに慣れている人物では25%、慣れていない人物であると9%向上させることができた。また、Z2C-Walkを正しく行うには慣れが必要であり、慣れと共に識別率も向上していくことが分かった。このことからZ2C-Walkに慣れていない歩行者に対しては支援を行う必要があり、大股時の音をずらしてタイミングを提示することとした。タイミングを提示することで歩行者のZ2C-Walkの動作補助を行うと同時に識別率の強化にも繋がっている。また、今回の実験では識別を行なった瞬間の

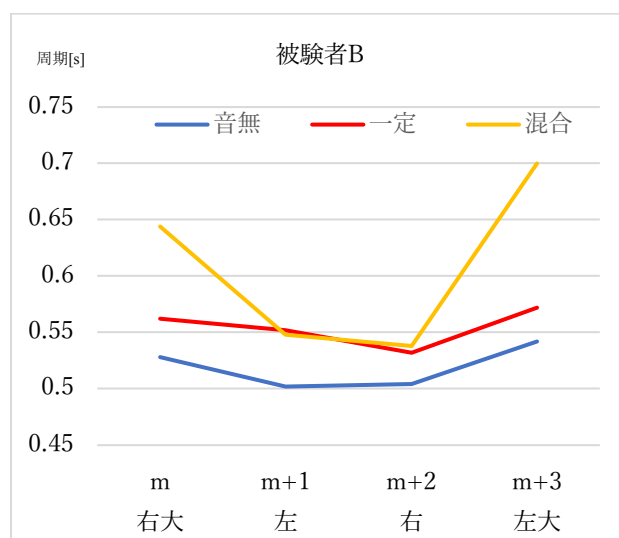
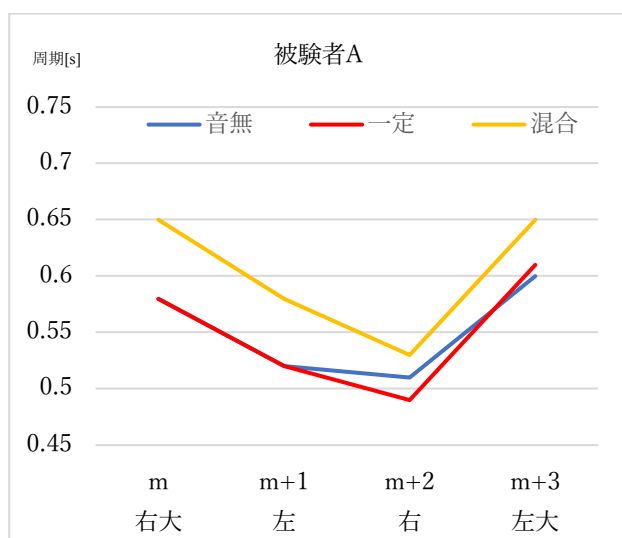


図5 歩行周期の推移

みで判断を行なったので、前後に行なっていた動作に関係なく判別を行なっていた。識別結果を時系列的にみることによってさらなる識別率の強化を試みる。

今後は、さらなる識別精度の向上及び支援を行うシステムの開発を検討する。

参考文献

- [1] 厚生労働省:健康日本 21(第二次);(2012)
- [2] Shimoho K et al: Physiologial and perceived exertion responses to a novel walking exercise “i-Walk”; ISPGR World Congress, 3-M-58(2017)
- [3] Allet et al: The influence of stride-length on plantar foot-pressures and joint moments; Gait and Posture, Vol34, No3, pp300-306(2011)
- [4] Gorodon et al: Metabolic and Mechanical Energy Costs of Reducing Vertical Center of Mass Movement During Gait; Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, Vol90, No1, pp136-144(2009)